



PCT

WELTOrganisation FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> : G01S 13/93, 13/34		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 95/14939 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 1. Juni 1995 (01.06.95)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE94/01382 (22) Internationales Anmeldedatum: 23. November 1994 (23.11.94)		(81) Bestimmungsstaaten: CA, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	
(30) Prioritätsdaten: P 43 39 920.7 23. November 1993 (23.11.93) DE			
(71) Anmelder ( <i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i> ): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder ( <i>nur für US</i> ): HÖSS, Alfred [DE/DE]; Schöndorfer Strasse 4, D-92363 Hamberg (DE). SCHINDLER, Wolfgang [DE/DE]; Friedrich-Ebert-Strasse 27, D-93051 Regensbrug (DE).			
(54) Title: RADAR PROCESS AND DEVICE FOR CARRYING OUT SAID PROCESS (54) Bezeichnung: RADARVERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DIESES VERFAHRENS			
(57) Abstract <p>A radar process and a device for carrying out said process are disclosed. After filtering through a Kalman filter and eliminating target objects having a physically impossible behaviour (tracking and prediction), on the basis of the detected values <math>e</math> (distance), <math>vr</math> (relative speed) and <math>br</math> (relative acceleration), as well as of the azimuth angle of each target object, is estimated whether and which target objects are on one's lane and one determines which target objects are most dangerous. Depending on the driving behaviour of the driver, road and weather conditions, indicator, warning or intervention thresholds are determined. When distance <math>e</math>, relative speed <math>vr</math> and relative acceleration <math>br</math> of the target objects exceed or fall below said thresholds, indicator, warning or intervention signals (at the vehicle brakes, throttle valve or shift gear) are generated.</p>			

**(57) Zusammenfassung**

Radarverfahren und Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens, wobei aus den ermittelten Größen Entfernung e, Relativgeschwindigkeit vr und Relativbeschleunigung br nach Kalman-Filterung und Ausscheiden von Zielobjekten mit physikalisch nicht möglichem Verhalten (Tracking und Prädiktion) sowie der Azimutwinkel jedes Zielobjekts abgeschätzt wird, und daraus ermittelt wird, welche Zielobjekte sich auf der eigenen Fahrbahn befinden und welche die gefährlichsten davon sind, und abhängig vom Fahrverhalten des Fahrers, Straßen- und Wetterbedingungen Anzeige-, Warn- oder Eingreifschwellen ermittelt werden und bei Über- oder Unterschreiten dieser Schwellen durch Entfernung e, Relativgeschwindigkeit vr und Relativbeschleunigung br der Zielobjekte Anzeige-, Warn- oder Eingreifsignale (in Bremsen, Drosselklappe oder Getriebeschaltung des Fahrzeugs) erfolgen.

**LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Maurenien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

## Beschreibung

Radarverfahren und Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Radarverfahren, insbesondere für Straßenfahrzeuge, gemäß Oberbegriff von Anspruch 1 sowie auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens gemäß Oberbegriff von Anspruch 15.

10

Ein solches Radarverfahren, insbesondere für Straßenfahrzeuge, und eine Vorrichtung (Radargerät) zur Durchführung dieses Verfahrens ist in der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung PCT/EP 9403646 beschrieben (im folgenden als

15

"vorbekanntes Verfahren" bezeichnet) und bildet die Grundlage für die vorliegende Erfindung. Es handelt sich dabei um ein kostengünstiges FMCW-Radargerät mit einem digitalen Signal-

20

prozessor, welcher über einen Oszillatior wenigstens eine Antenne steuert und aus dreieckförmig modulierten Sende- und Empfangssignalen ein Mischsignal erzeugt, welches je Modula-

tionsphase (auf oder ab) jedes Meßzyklus einer schnellen Fouriertransformation unterworfen wird, um aus den ermittelten Maxima jedem Zielobjekt zugeordnete Objektfrequenzen zu erhalten, aus denen über mehrere Meßzyklen zurückreichende Objektbahnen gebildet werden, die zur Bildung von Schätzwerten für die im nächsten Meßzyklus zu erwartenden Meßwerte der Objektfrequenzen herangezogen werden, wobei die zueinandergehö-

renden Objektfrequenzen  $fu = |fr - fv|$  und  $fd = |fr + fv|$  beider Modulationsphasen eines Meßzyklus ermittelt und aus

25

ihnen in bekannter Weise Abstand  $e \sim |fu + fd|$  und Relativge-

schwindigkeit  $vr \sim |fu - fd|$  jedes Zielobjekts bestimmt wer-

den.

FMCW-Radarverfahren sind allgemein bekannt, zum Beispiel aus

35

- E. Baur, Einführung in die Radartechnik / Studienschriften, Teubner, 1. Auflage, Stuttgart 1985, Seiten 124 bis 133; sowie aus

- DE-A1-25 14 858.
- DE-A1-29 00 825 und
- DE-A1-40 40 572;

5 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Verfahren und Vorrichtung aus der DE-A1-29 00 825 weiter zu verbessern.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

10

Figur 1 ein Fahrzeug auf einer dreispurigen Fahrbahn,  
Figur 2 ein schematisches Schaltbild des Radargerätes,  
Figur 3 ein Beispiel für zwei gleiche Modulationszyklen pro  
Meßphase,

15 Figur 4 ein Beispiel für zwei unterschiedliche Modulationszyklen pro Meßphase, und  
Figur 5 ein alternatives Schaltbild des Radargerätes.

Ein Ausführungsbeispiel nach Figur 1 zeigt ein mit einem Radargerät ausgestattetes Fahrzeug F während seiner Fahrt auf der mittleren Fahrbahn FM einer in Fahrtrichtung dreispurigen Fahrbahn FR, FM, FL. Jede Fahrbahn ist hier beispielsweise 3,75 m breit. Das Radargerät weist drei nach vorne gerichtete Radarstrahlen sr, sm, sl mit seitlich etwas gegeneinander versetzten Strahlrichtungen auf. Im gezeigten Beispiel bestrahlt das dreistrahlige System in einer Entfernung von ca. 25 m bereits die gesamte eigene Fahrbahn FM. Beispielsweise in rund 70 m Entfernung erfaßt jeder der drei Strahlen jeweils eine Fahrbahn in angenähert voller Breite: der Strahl

25 sm die eigene Fahrbahn FM, und die seitlichen Strahlen sl, sr die rechte und linke Nachbarfahrbahn FR und FL.

30  
35 Es werden gleichzeitig alle drei Fahrbahnen selektiv in einem wichtigen Entfernungsbereich überwacht. Die Strahlenbreite in vertikaler Richtung beträgt z.B. ca. 5°, um bei Fahrten über Kuppen oder durch Senken vorausfahrende Objekte H nicht zu verlieren. In dem gezeigten Beispiel beträgt die minimale

Reichweite des Radargerätes z.B. ca. 1m, sowie die maximale Reichweite z.B. rund 150m, obwohl die Figur 1 für die drei Strahlen sr, sm, sl nur eine Reichweite von jeweils ca. 75 m zeigt.

5

Das Radargerät nach Figur 2 dient zur Ermittlung der Entfernung e und der Relativgeschwindigkeit vr zwischen dem fahrenden Fahrzeug F und vorausfahrenden Objekten H. Zu beachten ist, daß die Relativgeschwindigkeit vr negativ ist, wenn sich 10 der Abstand e zwischen dem Fahrzeug und dem Objekt H verkleinert.

Bei einem konkreten Ausführungsbeispiel eines FMCW-Radarverfahrens und -gerätes gemäß der Erfindung (Figuren 1 und 2) 15 mit drei gegeneinander versetzten und zyklisch nacheinander gesendeten Radarstrahlen sm, sr, sl beträgt:

- \* die Breite jedes einzelnen der drei Strahlen horizontal  $3,0^\circ \pm 0,5^\circ$  und vertikal  $5,0^\circ \pm 1,0^\circ$ ,
- \* der Winkel zwischen den Zentren benachbarter Keulen  $3,3^\circ \pm 0,5^\circ$ ,
- \* die minimale Reichweite ca 1m,
- \* die maximale Reichweite gegen 200m,
- \* die Genauigkeit der errechneten Objektentfernungen  $< \pm 1m$
- \* und die Geschwindigkeitsauflösung  $< \pm 2,7\text{km/h}$
- 25 \* bei 77GHz Trägerfrequenz fo sowie 220MHz Modulationshub, jeweils durchlaufen in ca. 3ms pro Modulationsphase, bei einer Meßzyklusdauer von etwa 13ms.

Eine noch bessere Unterdrückung von Fehlalarmen läßt sich mit 30 einem beispielsweise fünfstrahligen Radar ohne höhere Prozessoranforderungen erreichen, wobei die fünf Strahlen ll (links außen), l (links), m (mitte), r (rechts), rr (rechts außen) zyklisch, beispielsweise in der Folge m-ll-rr-m-l-r u.s.w., gesendet bzw. empfangen werden.

35

Ein digitaler Signalprozessor CPU sendet ein digitales Modulationssignal msd, welches in einem D/A-Wandler eines Inter-

face-Bausteins ADI zu einem analogen, dreieckförmigen Modulationssignal ms umgewandelt und dem Sender S zugeleitet wird. Der Sender S dient zur Abstrahlung von modulierten Radarstrahlen sr, sm, sl.

5

Die vom Empfänger E empfangenen Echosignale rs werden nach Digitalisierung im A/D-Wandler des Interface-Bausteins ADI als digitale Daten rsd dem Signalprozessor CPU zugeleitet und in ihm gemäß dem vorbekannten Verfahren zu den Größen Entfernung e und Relativgeschwindigkeit vr für jedes Zielobjekt verarbeitet. Der Signalprozessor CPU führt sämtliche Berechnungen für das Verfahren durch, insbesondere auch die schnellen digitalen Fourier-Transformationen FFT nach dem vorbekannten Verfahren zur Ermittlung der in den daraus erhaltenen Spektren enthaltenen Maxima und der diesen zugeordneten Objektfrequenzen fu und fd. Diese Spektren enthalten Rauschanteile, aus denen erfindungsgemäß Mittelwerte gebildet werden, die von den Amplituden dieses Spektrums subtrahiert werden. Es wird anschließend ein über dem verbliebenen Rauschsignal liegender Grenzwert festgelegt, so daß alle Maxima des Spektrums, die oberhalb dieses Grenzwertes liegen, als einem Zielobjekt zugeordnete Maxima und nicht als Rauschwerte zu werten sind.

25 Der Signalprozessor CPU kann zusätzlich mittels Signalen s von Sensoren SE aus einem übergeordneten System des Fahrzeuges F, z.B. über ein Sensorinterface SI, Daten empfangen, z.B. Daten über die aktuelle Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeuges F und über den Einschlagwinkel seiner lenkbaren Vorderräder bzw. deren Raddrehzahlen. Über weitere Sensoren oder vom Fahrer zu betätigende Schalter und das Sensorinterface SI kann der Signalprozessor CPU z.B. auch sonstige Zustandsdaten der Fahrbahn FM wie trocken, naß, u.s.w. sowie Wetter- und Sichtverhältnisse oder sonstige Daten abfragen, um sie bei der Auswertung der empfangenen Radarechos und der Bestimmung der Anzeige- und Warnschwellen mit zu berücksichtigen, oder auch bei der automatischen Ermittlung des Bremsweges und bei

der Bewertung, wie gefährlich ein ermitteltes Zielobjekt H ist.

Der Signalprozessor CPU kann zusätzlich über eine Interface-  
5 einheit IS mit anderen Aggregaten des Fahrzeuges F in Verbin-  
dung treten (z.B. mit den Bremsen oder der Drosselklappe, um  
bei zu starker Verringerung oder Vergrößerung der errechneten  
Entfernung oder bei zu starker Änderung der Relativgeschwin-  
digkeit zum vorausfahrenden Zielobjekt automatisch die Ge-  
10 schwindigkeit des Fahrzeuges F zu reduzieren oder zu erhöhen  
- automatisch gesteuerte Kolonnenfahrt).

Der Signalprozessor CPU kann zusätzlich direkt zum Sender  
oder zum Empfänger digitale Steuersignale cs senden, die z.B.  
15 zur Umschaltung von einem Radarstrahl auf die anderen Strah-  
len dienen können. Ebenso können auch Signale fu, z.B. Feh-  
lermeldungen, Meldungen über Verschmutzung der Sende/Emp-  
fangsanenne (= Aufforderung zur automatischen oder manuellen  
Reinigung der Radarantennen-Abdeckung), usw., vom Sender S  
20 oder vom Empfänger E oder von ihnen zugeordneten Sensoren  
direkt zum Signalprozessor CPU gemeldet werden.

Anschließend an eine Auswertung kann der Signalprozessor CPU  
zumindest einzelnen der ermittelten Zielobjekte H zugeordnete  
25 Signale über eine optische oder akustische Warneinrichtung  
OW, AW auslösen. Zusätzlich können auch, z.B. durch Spiegeln  
in die Frontscheibe, Hinweise auf solche Objekte H eingeben-  
det werden. Es können auch einzelne Daten in einer Einheit  
REG registriert werden, z.B. in einem Unfalldatenschreiber.

30 Wenn das Speichern der empfangenen Echosignale und deren Ver-  
arbeitung im selben Signalprozessor nacheinander zyklisch er-  
folgen, werden schnelle und damit kostenintensive Prozessoren  
benötigt. Um preiswertere Prozessoren einsetzen zu können,  
35 kann, wie in Figur 5 dargestellt, die Zwischenspeicherung der  
empfangenen Radarecho-Signale rsd ebenso wie die der vom Si-  
gnalprozessor ausgegebenen Modulationssignale msd in Puffer-

speichern RMEM, TMEM erfolgen und die Datenverarbeitung im Signalprozessor CPU (Slave) durchgeführt werden, der durch einen Controller CON (Master) von Datenaufnahme, Transfer zum übergeordneten System, Übernahme von Steuerdaten, der Trigge-  
5 rung der Adresslogik (Start des Meßzyklus), der Adresslogik selbst und ggf. auch von der Steuerung der Sende/Empfangsan-  
lage und des Display-Interface entlastet wird.

10 Zusätzlich können sich Controller CON und Signalprozessor CPU gegenseitig überwachen und kann der Controller die Steuerung der Eigendiagnose des Radargerätes, wie noch erläutert, über-  
nehmen.

15 Mit zwei Prozessoren darf die Datenauswertung der im vorher-  
gehenden Meßzyklus aufgenommenen Daten nahezu die gesamte  
Dauer eines Meßzyklus betragen, vermindert lediglich um eine  
kurze Übertragungsdauer der Daten vom Pufferspeicher zum Ver-  
arbeitungsprozessor). Die Trennung bewirkt zwar einen etwas  
höheren Hardwareaufwand durch die zusätzlichen Pufferspeicher  
20 und den weiteren Controller, verringert aber die hohen Anfor-  
derungen an den Verarbeitungsprozessor (digitaler Signalpro-  
zessor). Das erlaubt zudem bei gleicher Rechenleistung die  
Implementierung weiterer, zusätzlicher Funktionen wie Ab-  
standswarnung, intelligente Fahrgeschwindigkeitsregelung  
25 u.s.w.

Ein einzelner Meßzyklus mez pro Radarstrahl umfaßt gemäß dem vorbekannten Verfahren einen einzigen Modulationszyklus und, daran anschließend, eine Auswertepause. Er kann jedoch erfin-  
30 dungsgemäß auch mehrere solcher aufeinanderfolgender Modula-  
tionszyklen moz umfassen, z.B. drei oder fünf Modulationszy-  
klen. Die einzelnen Modulationszyklen moz können unterschied-  
liche Dauern und unterschiedliche Flankensteilheiten im Fre-  
quenz-Zeit-Diagramm aufweisen, vgl. die Figuren 3 und 4. In  
35 diesen Figuren wurde beispielsweise angenommen, daß die Modu-  
lationshübe für Aufwärts- und Abwärts-Modulationsphase up und  
do jeweils konstant sind.

Die Signalform gemäß Figur 4 mit unterschiedlichen Modulationsdauern  $moz_1$ ,  $moz_2$  gestattet zusätzlich, Spiegelfrequenzen (bei langsamem Modulationsraten  $df/dt$  können rechnerisch-theoretisch in der Formel  $fd = |fr - fv|$  negative Frequenzen 5  $fv$  entstehen, die, als positive Frequenzen gespiegelt, Mehrdeutigkeiten verursachen) dadurch zu eliminieren, daß im Nahbereich (z.B. bevorzugt 0 m bis 40 m), in welchem bei langsamem Modulationszyklen solche Spiegelfrequenzen auftreten können, mit einem schnelleren Modulationszyklus  $moz_1$  vermessen 10 wird, z.B. mit einer Anstiegszeit von 0.75ms<sup>1</sup> (wodurch sich die Frequenzen  $fr$  und  $fv$  nach oben verschieben und negative Frequenzen  $fv$  nicht auftreten), während der Fernbereich mit einer langsameren Anstiegszeit von z.B. 3ms vermessen wird. Aufgrund der im schnelleren Modulationszyklus im Nahbereich 15 gewonnenen Informationen können durch Spiegelfrequenzen verursachte Mehrdeutigkeiten in den langsamem Modulationszyklen  $moz_2$  für diesen Bereich eliminiert werden.

Bei mehreren Modulationszyklen je Meßzyklus wird für die Bildung der Objektfrequenzen  $fu$  und  $fd$  - siehe vorbekanntes Verfahren - ein Mittelwert aus den entsprechenden Werten aller  $n$  Modulationszyklen dieses Meßzyklus verwendet.

Die so ermittelten Werte für Entfernung  $e$  und Relativgeschwindigkeit  $vr$  jedes Zielobjekts  $H$  bilden die "Rohdaten" 25 für den weiteren Verfahrensablauf.

In einem Datensatz für jedes Zielobjekt sind wenigstens folgende Parameter enthalten, die, soweit sie nicht konstant 30 sind, nach jedem Meßzyklus aktualisiert werden und, soweit noch nicht bekannt, anschließend erläutert werden: Entfernung, Relativgeschwindigkeit, relative Beschleunigung, Amplitude (der zugehörigen Maxima im FFT-Spektrum), gewählter Sicherheitsabstand, Trackingzeit bzw. Trackingzähler, Prädiktionszeit bzw. Prädiktionszähler sowie Objektstatus (z.B. Zielobjekt detektiert, aber noch nicht zuverlässig gültig, gültig, gefährlich, weniger gefährlich, ungefährlich).

Die Trackingzeit bzw. der Trackingzähler eines Zielobjektes stellt ein Maß für die bisherige Verfolgungsdauer (in Zeit oder Zahl der Meßzyklen) dar, die aber begrenzt sein kann.

- 5 Die Prädiktionszeit bzw. der Prädiktionszähler kennzeichnet die Dauer der Prognose (in Zeit oder Zahl der Meßzyklen) über das weitere Verhalten des verfolgten Objekts, welches z.B. wegen Abschirmungen (durch ein dicht vor dem Fahrzeug F fahrendes anderes großes Objekt) für das Radarsystem vorübergehend scheinbar verschwunden sein kann und deshalb (seit einigen Meßzyklen) nicht mehr detektiert, sondern prädiktioniert wird. Prädiktionszeit bzw. Prädiktionszähler können ebenfalls begrenzt sein.
- 10
- 15 Entfernung e, Relativgeschwindigkeit vr und relative Beschleunigung br der ermittelten Zielobjekte H werden anschließend einem an sich bekannten Kalman-Filter (oder ebenfalls bekannten  $\alpha$ - $\beta$ - bzw.  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -Filtern) zugeführt und gefiltert (bereinigt).
- 20 Mit den bereinigten Daten e, vr und br werden nun für jedes Zielobjekt H, analog zur Bildung der Bahnen der Objektfrequenzen fu und fd bei dem vorbekannten Verfahren, ebenfalls Zielobjektbahnen gebildet und die Zielobjekte laufend über
- 25 einen vorgegebenen Zeitraum verfolgt (Tracking), auf physikalisch mögliches Verhalten überprüft, und bei Ausbleiben von Meßdaten über einen vorgegebenen Zeitraum aufgrund des bisherigen Verhaltens Schätzwerte gebildet (Prädiktion). Wenn ein Zielobjekt nach Ablauf der Prädiktionszeit nicht wieder erscheint oder sich "physikalisch unmöglich" verhält, wird der entsprechende Datensatz gelöscht.
- 30

Aus den bereinigten Daten sowie aus Amplituden der Objektfrequenzen und Strahlnummer (bei drei Strahlen: mitte, links,

- 35 rechts) der Azimutwinkel (horizontale Abweichung von der Fahrzeulgängsachse) abgeschätzt und auf besonders einfache,

wenig aufwendige Weise die verfolgten Ziele störungssarm gewichtet werden.

Mittels bekannter mathematischer bzw. geometrischer Zusammenhänge wird zumindest aus den Zielobjektdaten Abstand e, Relativgeschwindigkeit vr, Beschleunigung br und Azimutwinkel sowie Geschwindigkeit und Kurvenradius des eigenen Fahrzeuges festgestellt, welche Zielobjekte sich auf der eigenen Fahrbahn befinden und werden die kritischen Zielobjekte und das 10 gefährlichste Zielobjekt auf der eigenen Fahrbahn ermittelt.

In einem weiteren Schritt wird aus den durch den Fahrer ausgelösten Lenkbewegungen ( $d/dt$ ), Beschleunigungen und Bremsverzögerungen adaptiv auf den Fahrstil geschlossen. Dem entsprechend werden Anzeige-, Warn- und ggf. Eingreif-Schwellen 15 für Abstand e, Relativgeschwindigkeit vr und Beschleunigung br gebildet, mit denen die Daten der gefährlichsten Zielobjekte verglichen werden. Bei Überschreiten bzw. Unterschreiten dieser Schwellen werden entsprechende Anzeigen oder Warnsignale ausgelöst bzw. Bremsen, Motor-Drosselklappe oder Getriebeschaltung 20 betätigt.

Beim Start des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Radargerät zunächst initialisiert, indem alle gespeicherten Daten- 25 sätze gelöscht werden (die Zielobjekte betreffen, welche vor dem letzten Abschalten des Radargerätes verfolgt wurden). Die Initialisierungsroutine kann zusätzlich die Funktionstüchtigkeit des Radargerätes überprüfen: sie kann z.B. über die Größe des Rauschpegels in den Radarsignalen (Vergleich mit 30 vorgegebenen Grenzwerten) die Funktion des Radar-Frontends (Analogteils) überprüfen, sie kann ein simuliertes Objekt am Empfangsantennen-Eingang einspeisen und die Korrektheit der Verarbeitung des simulierten Signals prüfen. Sie kann auch, falls eine Fehlfunktion auftritt, diese Fehlfunktion über ei- 35 ne Warnlampe dem Fahrer anzeigen oder eine Reinigung der Radarannten-Abdeckung bei deren Verschmutzung anfordern oder automatisch auslösen. - Es ist von Vorteil, wenn die Funkti-

10

onstüchtigkeit des Radargerätes auch während des laufenden Betriebes in regelmäßigen Abständen überprüft wird.

## Patentansprüche

1. Radarverfahren, insbesondere für Straßenfahrzeuge, mit we-  
5 nigstens einem Radarstrahl (Keule), bei welchem fortlaufend  
in aufeinanderfolgenden Meßzyklen pro Radarstrahl- wobei je-  
der Meßzyklus aus einem Modulationszyklus aus einer aufstei-  
genden und einer absteigenden Modulationsphase des Radarsi-  
gnals und einer anschließenden Auswertepause für die empfan-  
10 genen Echosignale besteht - in einem digitalen Signalprozes-  
sor (CPU) die in jedem Modulationszyklus (moz) während der  
beiden Modulationsphasen (up, do) empfangenen, digitalisier-  
ten und aufgezeichneten Abtastwerte der aus Sende- und Emp-  
fangssignalen gebildeten Mischsignale getrennt einer schnel-  
15 len Fouriertransformation (FFT) unterzogen werden, um aus den  
in den daraus ermittelten Frequenzspektren enthaltenen Maxima  
den Zielobjekten zugeordnete Objektfrequenzen (fu, fd) pro  
Meßzyklus zu bestimmen,  
wobei aus den über einige Meßzyklen gespeicherten Objektfre-  
20 quenzen für jedes Zielobjekt, nach aufsteigenden und abstei-  
genden Modulationsphasen getrennt, Objektbahnen gebildet wer-  
den, die den bisherigen zeitlichen Verlauf dieser Objektfre-  
quenzen beschreiben,  
wobei aus dem bisherigen Verlauf dieser Objektbahnen Schätz-  
25 werte für die im nächsten Meßzyklus zu erwartenden Objektfre-  
quenzen gebildet werden, und  
wobei nach Berechnung eines Fehlermaßes aus den Objektfre-  
quenzen und aus den von den Objektbahnen erhaltenen Schätz-  
werten die Objektfrequenz-Paare (fu, fd) mit dem jeweils ge-  
30 ringsten Fehlermaß einander zugeordnet werden, und wobei aus  
diesen Paaren die richtigen Werte für Entfernung (e), Rela-  
tivgeschwindigkeit (vr) und Relativbeschleunigung (br) jedes  
Zielobjekts (H) berechnet werden,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
35 daß für jedes Zielobjekt (H) ein Datensatz angelegt und ge-  
speichert wird, der wenigstens folgende Daten enthält:  
Entfernung (e), Relativgeschwindigkeit (vr), relative Be-

schleunigung (br), Amplitude (der zugehörigen Maxima im FFT-Spektrum), gewählter Sicherheitsabstand, Trackingzeit bzw. Trackingzähler, Prädiktionszeit bzw. Prädiktionszähler sowie Objektstatus,

- 5 daß die Daten Entfernung (e), Relativgeschwindigkeit (vr) und relative Beschleunigung (br) einer Kalman-Filterung oder  $\alpha$ - $\beta$ - bzw.  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -Filterung unterzogen und damit bereinigt werden, daß für jedes Zielobjekt (H) für Entfernung (e), Relativgeschwindigkeit (vr) und relative Beschleunigung (br) Zielobjektbahnen gebildet und Zielobjekte mit physikalisch nicht möglichen Verhalten oder verschwindende Zielobjekte nicht weiter verfolgt werden,
- 10 daß aus Entfernung (e), Relativgeschwindigkeit (vr) und relativer Beschleunigung (br), Amplituden der Objektfrequenzen und Strahlnummer (l, m, r bzw. ll, l, m, r, rr) der Azimutwinkel jedes Zielobjekts (H) abgeschätzt wird,
- 15 daß zumindest aus den Zielobjektdaten Abstand (e), Relativgeschwindigkeit (vr), Relativbeschleunigung (br) und Azimutwinkel jedes Zielobjekts (H) sowie Geschwindigkeit und Kurvenradius des eigenen Fahrzeuges (F) festgestellt wird, welche Zielobjekte sich auf der eigenen Fahrbahn befinden und daraus wenigstens das gefährlichste Zielobjekt auf der eigenen Fahrbahn ermittelt wird, und
- 20 daß Anzeige-, Warn- und Eingreifschwellen für Abstand (e), Relativgeschwindigkeit (vr) und Relativbeschleunigung (br) oder Kombinationen davon vorgegeben werden, bei deren Über- oder Unterschreiten Anzeigen und Warnungen für den Fahrer oder Eingriffe in Bremsen, Motordrosselklappe oder Getriebeschaltung des Fahrzeuges (F) erfolgen.

30

2. Radarverfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß aus dem Rauschanteil des bei jeder Fouriertransformation (FFT) gebildeten Frequenzspektrums Mittelwerte gebildet werden, daß diese Mittelwerte von den Amplituden des Frequenzspektrums subtrahiert werden, daß eine über dem verbleibenden

Rauschpegel liegende Schwelle vorgegeben wird, und daß alle oberhalb dieser Schwelle liegenden Maxima nicht als Rauschen, sondern als Zielobjekten zugeordnet weiterverarbeitet werden.

3. Radarverfahren nach Anspruch 1,

5 durch gekennzeichnet, daß in jedem Meßzyklus (mez) wenigstens zwei Modulationszyklen (moz1, moz2) durchgeführt werden, und daß die Mittelwerte der aus diesen Modulationszyklen errechneten Objektfrequenzen als Objektfrequenzen (fu, fd) dieses Meßzyklus weiterverarbeitet werden.

4. Radarverfahren nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet, daß die Modulationszyklen (moz1, moz2) pro Meßzyklus (mez) unterschiedlichen Modulationshub oder unterschiedliche Modulationsdauer aufweisen.

20 5. Radarverfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß für jedes Zielobjekt (H) ein Datensatz angelegt und gespeichert wird, der wenigstens folgende Daten enthält, die, soweit sie nicht konstant sind, nach jedem Meßzyklus aktualisiert werden:

Entfernung (e), Relativgeschwindigkeit (vr), relative Beschleunigung (br), Amplitude (der zugehörigen Maxima im FFT-Spektrum), gewählter Sicherheitsabstand, Trackingzeit bzw. Trackingzähler, Prädiktionszeit bzw. Prädiktionszähler, sowie

30 Objektstatus.

6. Radarverfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

35 daß Entfernung (e), Relativgeschwindigkeit (vr) und relative Beschleunigung (br) der ermittelten Zielobjekte (H) in jedem

Meßzyklus einem Kalman-Filter oder  $\alpha$ - $\beta$ - bzw.  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -Filtern zugeführt und dort gefiltert - bereinigt - werden.

5 7. Radarverfahren nach Anspruch 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß aus den bereinigten Daten (e, vr, br) jedes Zielobjekts  
über eine vorgegebene Zeit oder Anzahl von Meßzyklen (mez)  
Zielobjektbahnen gebildet werden (Tracking), daß bei Ausblei-  
10 ben von Meßdaten Schätzwerte aufgrund des bisherigen Verhal-  
tens des Zielobjekts über eine vorgegebene Zeit oder Anzahl  
von Meßzyklen (mez) gebildet werden (Prädiktion), und daß bei  
einem physikalisch nicht möglichen Verhalten oder bei Aus-  
bleiben von Meßdaten über die vorgegebene Prädiktionszeit  
15 hinaus der Datensatz dieses Zielobjekts gelöscht wird.

8. Radarverfahren nach Anspruch 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
20 daß aus den bereinigten Daten (e, vr, br), aus den Amplituden  
der Objektfrequenzen und der Strahlnummer (sl, sm, sr) jedes  
Zielobjekts (H) der Azimutwinkel (horizontale Abweichung des  
Zielobjekts von der Fahrzeulgängsachse des Fahrzeugs F) er-  
mittelt wird.

25 9. Radarverfahren nach Anspruch 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
daß aus den bereinigten Daten (e, vr, br) und dem Azimutwin-  
kel jedes Zielobjekts (H) sowie aus Geschwindigkeit und Kur-  
30 venradius des eigenen Fahrzeugs (F) ermittelt wird, welche  
Zielobjekte sich auf der Fahrbahn des Fahrzeugs (F) befinden  
und welche Zielobjekte kritisch oder dem Fahrzeug (F) gefähr-  
lich oder am gefährlichsten sind.

35

10. Radarverfahren nach Anspruch 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

15

daß aus den vom Fahrer des Fahrzeugs (F) ausgelösten Lenkbewegungen ( $d/dt$ ), Fahrzeugbeschleunigungen und Bremsverzögerungen adaptiv auf den Fahrstil des Fahrers geschlossen wird und dem entsprechend Anzeige-, Warn- oder Eingreif-Schwellen 5 für Entfernung (e), Relativgeschwindigkeit (vr) und Relativbeschleunigung (br) gebildet werden, bei deren Über- oder Unterschreiten durch die gefährlichen oder gefährlichsten Zielobjekte Anzeige- oder Warnsignale ausgelöst werden oder Bremsen, Motordrosselklappe oder Getriebeschaltung des Fahrzeuges 10 (F) betätigt werden.

11. Radarverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, 20 durch gekennzeichnet,  
15 daß beim Start des Radarverfahrens alle gespeicherten Datensätze gelöscht werden und eine Funktionskontrolle des Radargerätes durchgeführt wird, die in vorgegebenen Abständen während des Betriebes des Radargerätes wiederholt wird..

20

12. Radarverfahren nach Anspruch 11, 25 durch gekennzeichnet, daß zur Funktionskontrolle des Radar-Frontends ein Vergleich des Rauschpegels in den Radarsignalen (rs, rsd) mit vorgegebenen Grenzwerten erfolgt.

13. Radarverfahren nach Anspruch 11, 30 durch gekennzeichnet, daß zur Funktionskontrolle des Radarverfahrens Signale eines simulierten Zielobjekts in die Radarsignale (rs) eingespeist werden und die korrekte Verarbeitung dieser Signale überprüft wird.

35

14. Radarverfahren nach Anspruch 13, 35 durch gekennzeichnet,

daß bei fehlerhafter Verarbeitung der simulierten Signale ein Warnsignal abgegeben wird.

- 5 15. Vorrichtung zur Durchführung des Radarverfahrens nach Anspruch 1, mit einem digitalen Signalprozessor (CPU), welcher dreieckförmige digitale Modulationssignale (msd) erzeugt, die in einem D/A-Wandler eines Interface-Bausteins (ADI) in analoge Signale (ms) umgewandelt und in einem Radar-Frontend (S-E/D) zu modulierten Radarsignalen (sr, sm, sl; ll, l, m, r, rr) verarbeitet werden, die von wenigstens einer Antenne gesendet und empfangen werden, mit Misch- und Filtermitteln zur Erzeugung von Mischsignalen (rs) aus Sende- und Empfangssignalen, die in einem A/D-Wandler des Interface-Bausteins (ADI) in digitale Signale (rsd) umgewandelt und dem Signalprozessor (CPU) zur Weiterverarbeitung zugeführt werden, dadurch gekennzeichnet, daß ein Sensor-Interface (SI) vorgesehen ist, über welches dem Signalprozessor (CPU) Signale (s) zuführbar sind,
- 10 20 daß eine Interfaceeinheit (IS) vorgesehen ist, über welche Steuersignale des Signalprozessors (CPU) anderen Aggregaten (Bremsen, Drosselklappe, Getriebeschaltung) des Fahrzeugs (F) zuführbar sind, daß eine Steuerleitung vom Signalprozessor (CPU) zum Radar-Frontend (S-E/D) geschaltet ist, über welche digitale Steuersignale (cs) des Signalprozessors (CPU) zur Steuerung der Sende- oder Empfangsantennen geleitet werden,
- 15 25 daß eine Signalleitung vom Radar-Frontend (S-E/D) zum Signalprozessor geschaltet ist, über welche digitale Fehlermeldungen (fu) oder Reinigungs-Anforderungssignale für die Radaranennen-Abdeckung vom Radar-Frontend (S-E/D) zum Signalprozessor gemeldet werden,
- 30 35 daß eine optische (OW) oder akustische (AW) Anzeige- oder Warneinrichtung vorgesehen ist, welche von Steuersignalen des Signalprozessors (CPU) gesteuert wird, und

17

daß eine Registriereinrichtung (REG) vorgesehen ist, in welcher vom Signalprozessor (CPU) ausgegebene Daten für späteren Abruf speicherbar sind.

5

16. Vorrichtung nach Anspruch 15,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die von Sensoren oder über vom Fahrer betätigten Schalter über das Sensor-Interface (SI) dem Signalprozessor (CPU) zu-  
10 geführten Signale (s) der Fahrzeuggeschwindigkeit, dem Ein-  
schlagwinkel der lenkbaren Vorderräder oder deren Drehzahlen,  
dem Fahrverhalten des Fahrers (Lenkbewegungen, Bremsverzöge-  
rungen und Beschleunigungen), Fahrbahnzustand (naß, trocken,  
Schnee, Eis) sowie Wetter- oder Sichtverhältnissen zugeordnet  
15 sind.

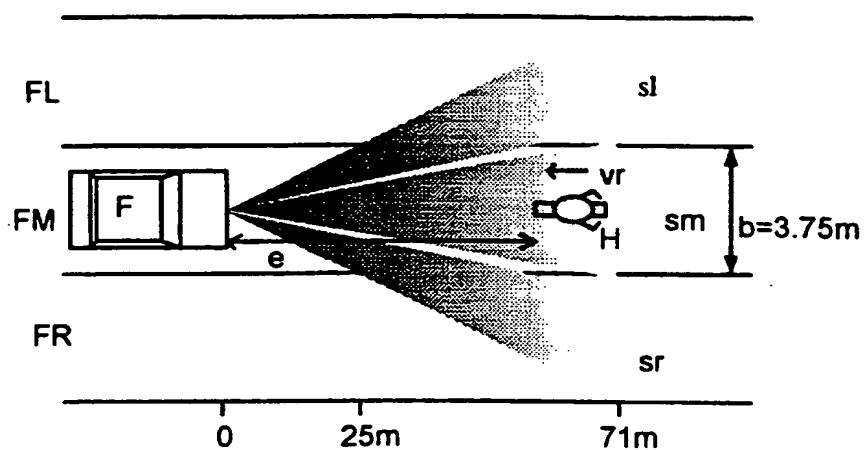
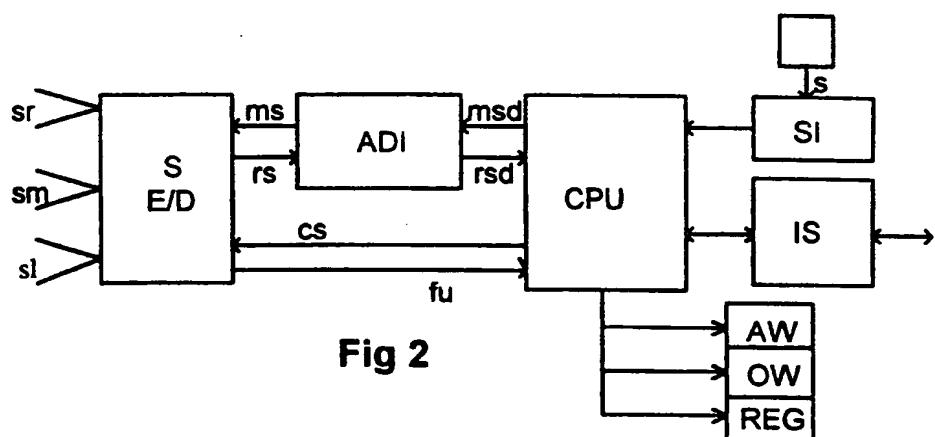
17. Vorrichtung nach Anspruch 15,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 daß zwischen Signalprozessor (CPU) und Interface-Baustein (ADI) für die Signale (msd, rsd) vom und zum Signalprozessor Pufferspeicher (TMEM, RMEM) vorgesehen sind, daß ein vom Signalprozessor (CPU) getrennter Controller (CON) vorgesehen ist, und daß der Controller (CON) die Steuerung des Radarver-  
25 fahrens sowie der Funktionskontrolle übernimmt und der Signalprozessor (CPU) die Datenverarbeitung durchführt.

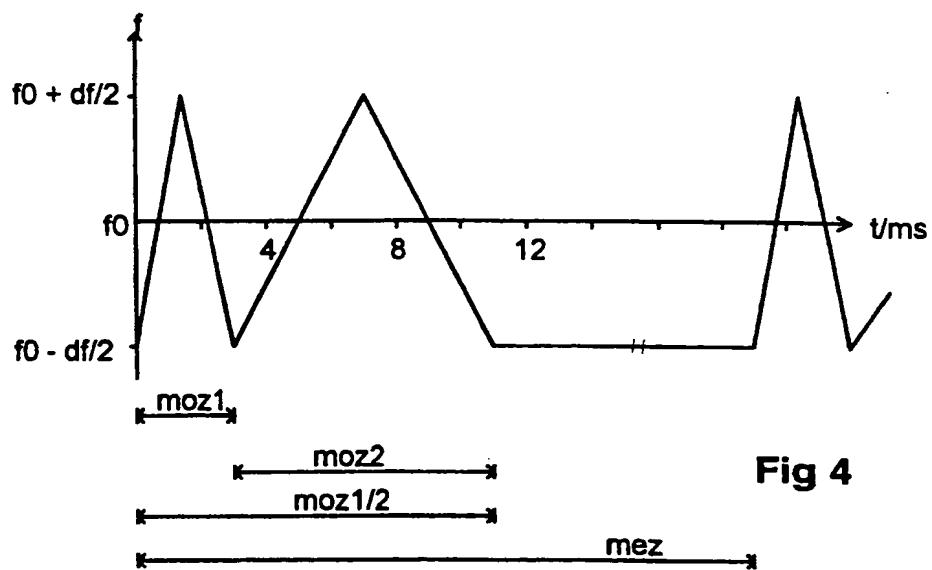
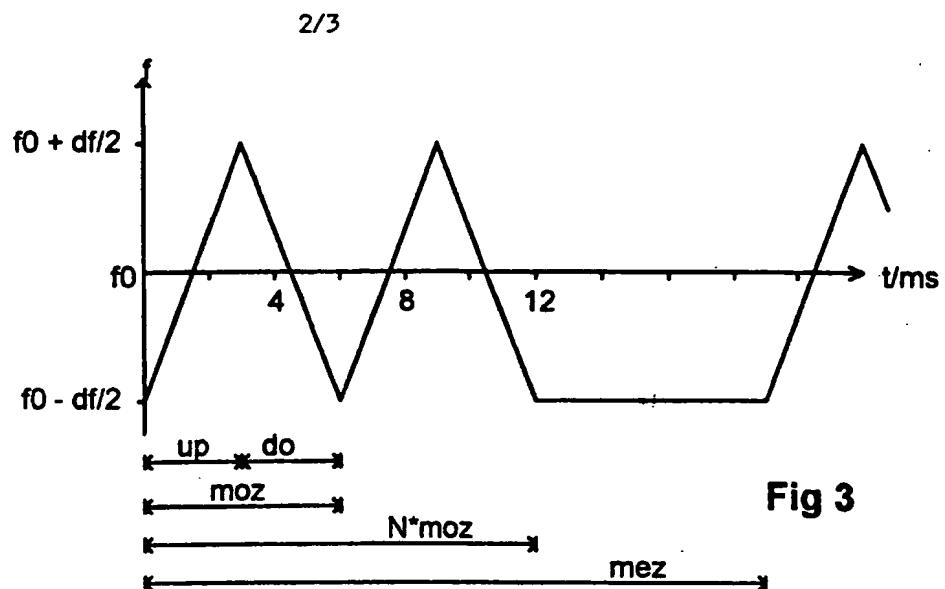
18. Vorrichtung nach Anspruch 17,  
30 dadurch gekennzeichnet,  
daß sich Signalprozessor (CPU) und Controller (CON) gegenseitig überwachen.

35 19. Vorrichtung nach Anspruch 15,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß das Radargerät folgende Daten aufweist:

- \* drei oder fünf gegeneinander versetzte und zyklisch in vorgegebener Reihenfolge nacheinander gesendete Radarstrahlen (sm, sr, sl; ll, l, m, r, rr);
- \* die Breite jedes einzelnen bei drei Strahlen beträgt horizontal  $3,0^\circ \pm 0,5^\circ$  und vertikal  $5,0^\circ \pm 1,0^\circ$ ;
- \* der Winkel zwischen den Zentren benachbarter Keulen beträgt  $3,3^\circ \pm 0,5^\circ$ ;
- \* die minimale Reichweite beträgt ca 1m;
- \* die maximale Reichweite beträgt gegen 200m;
- \* die Genauigkeit der errechneten Objektentfernungen ist  $< \pm 1m$ ;
- \* und die Geschwindigkeitsauflösung beträgt  $< \pm 2,7 \text{ km/h}$ ;
- \* bei 77GHz Trägerfrequenz  $f_0$  sowie etwa 200MHz Modulationshub, jeweils durchlaufen in ca. 0,75 ms oder 3ms pro Modulationsphase, bei einer Meßzyklusdauer von etwa 13ms.

1/3

**Fig 1****Fig 2**



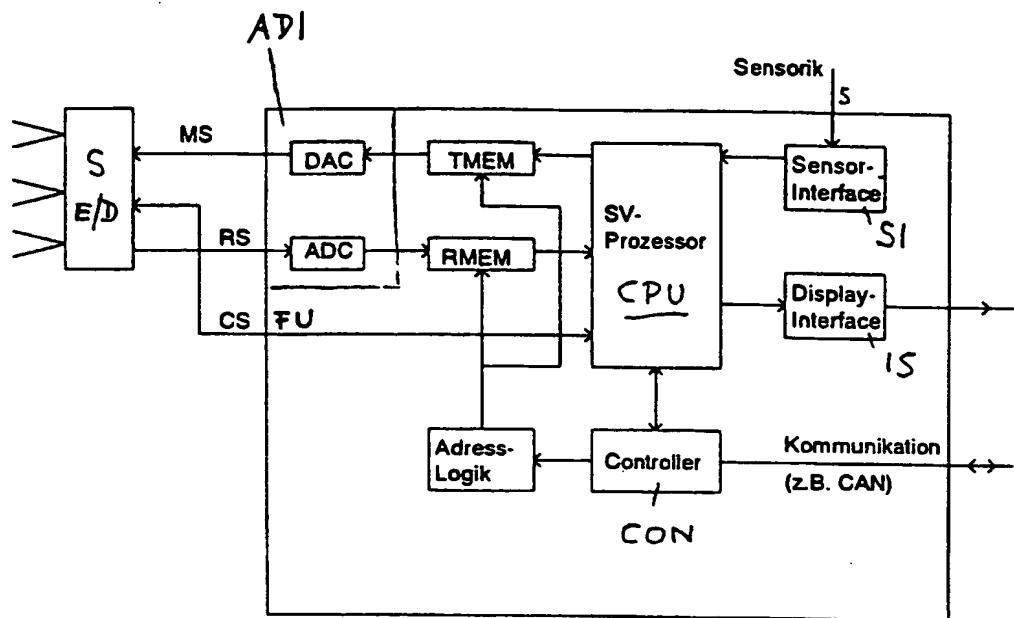


Fig. 5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 94/01382A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 G01S13/93 G01S13/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP,A,0 544 468 (THE STATE OF ISRAEL) 2 June 1993 see the whole document -----	1
A	GB,A,2 172 461 (PHILIPS) 17 September 1986 see abstract see page 3 - page 5 see page 7 -----	1

 Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*'E' earlier document but published on or after the international filing date
- \*'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed.

- \*'T' later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*'&' document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 March 1995

Date of mailing of the international search report

16.03.95

## Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patendaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

## Authorized officer

Zaccà, F

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**Int. Application No  
**PCT/DE 94/01382**

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0544468	02-06-93	NONE	
GB-A-2172461	17-09-86	NONE	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter. nationales Aktenzeichen  
PCT/DE 94/01382A. KLASSEFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 6 G01S13/93 G01S13/34

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationsymbole)  
IPK 6 G01S

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP,A,0 544 468 (THE STATE OF ISRAEL) 2. Juni 1993 siehe das ganze Dokument ---	1
A	GB,A,2 172 461 (PHILIPS) 17. September 1986 siehe Zusammenfassung siehe Seite 3 - Seite 5 siehe Seite 7 -----	1

 Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"V" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"P" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

1

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  1. März 1995	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts  16.03.95
Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde  Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Zaccà, F

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen  
**PCT/DE 94/01382**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0544468	02-06-93	KEINE	
GB-A-2172461	17-09-86	KEINE	